



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южный федеральный университет»
Координационный научно-технический центр систем управления
Южного федерального округа

У П Р А В Л Е Н И Е

- ◆ Беспилотные авиационные системы
- ◆ Морская робототехника
- ◆ Наземная робототехника
- ◆ Системы и средства связи, навигации и наведения
- ◆ Техническое зрение и бортовые вычислители

Сборник материалов Одиннадцатой
Всероссийской научно-практической
конференции
“Перспективные системы
и задачи управления”
и Седьмой молодежной
школы-семинара
“Управление и обработка информации
в технических системах”

Том I

2016

УДК 62-529

Б.А. Гайкович, В.Ю. Занин, И.В. Кожемякин**ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ТИПА «ГЛАЙДЕР»**

Приведены результаты работ, выполненных Закрытым Акционерным Обществом «Научно-производственное предприятие подводных технологий «Океанос» в период 2011–2016 гг. по теме создания автономного необитаемого подводного аппарата с гидродинамическими принципами движения – подводного глайдера. Обоснована актуальность проблемы, приведен обзор мировых достижений и состояния дел в данной области знаний. Описана конструкция создаваемого аппарата, приведены промежуточные данные испытаний и материалы их анализа. Рассмотрено место аппарата в системе морских робототехнических средств, описаны имеющиеся и разрабатываемые варианты полезной нагрузки и сформулированы требования к ней. Намечены и описаны дальнейшие направления дальнейших исследований.

Морская информационно-измерительная сеть; морская роботизированная система; автономный необитаемый подводный аппарат; подводный глайдер; волновой глайдер; гибридный глайдер; эффект фазового перехода; полезная нагрузка; ретранслятор сигнала; групповые миссии; морская безопасность.

B.A. Gaykovich, V.Yu. Zanin, I.V. Kozhemyakin**UNDERWATER ROBOTIC PLATFORMS DESIGN CHALLENGES, FROM THE EXPERIENCE OF CREATING AN UNDERWATER GLIDER**

Article depicts the results of the work carried out by Joint Stock Company "Scientific and Production Enterprise of underwater technologies" Oceanos " during the period 2011–2016, devoted to the autonomous unmanned underwater vehicles with hydrodynamic principles of the movement – the underwater gliders. Description given to the urgency of the problem, based on an overview of global developments and the state of the art knowledge in this particular field. The design and engineering of the vehicle, test results and analysis is included. Function of the marine robotic unit in marine security system is depicted. Various existing and emerging options for the payload and the requirements for further development are named and studied. Directions and problems for further research are outlined and structured.

Marine information network; marine robotic system; autonomous underwater vehicle; underwater glider; wave glider; hybrid glider; the phase shift effect; the payload; swarm technologies; hive thinking; maritime security.

1. Актуальность проблемы и краткая историческая справка. За последнее десятилетие произошли революционные изменения в области применения робототехники во всех отраслях промышленности и оборонной технологии. Морские системы не стали исключением – за этот период появились, оформились, получили признание и наработали большой научно-промышленный потенциал новые классы подводных роботов – автономные необитаемые аппараты (АНПА, AUV – Autonomus Underwater Vehicle) и подводные планеры с гидродинамическим принципом движения (Subsea Gliders). Отдельного рассмотрения заслуживает класс волновых глайдеров, представляющих собой фактически управляемые долговременные буи повышенной мобильности, а также гибридных глайдеров – компромисс между подводными глайдерами и традиционными АНПА с возможностью прямолинейного движения.

ВМС и научно-технические учреждения США, Германии и других ведущих западных стран с конца 80х годов исследовали потенциал подводных глайдеров. Первоначально, в соответствии с программой DARPA под названием SBIR, предполагалось создание глайдеров и донных баз с термоядерным источником энергии. Аналогичные работы велись и в СССР.

Первый рабочий образец (компании Webb Research) глайдера был представлен публике в 2005 году. Отказ от термопары в качестве основного источника питания и использование традиционных АКБ или элементов питания позволило превзойти имевшиеся конструкции АНПА. Аппараты Seaglider (Рабочая группа университета Вашингтона), Slocum (Webb Research) и Spray (Институт океанографии Скриппса) совершили групповой переход от побережья США до Бермудских островов.

В настоящее время, по материалам конференции IEE Oceans 2015 (США, Вашингтон, апрель 2015 г), компания Webb Research, на основании опыта эксплуатации глайдеров второго поколения с вспомогательной винтовой двигательной установкой и энергоемкой полезной нагрузкой, вернулась к термальному глайдеру и привела результаты испытаний, говорящие о достижении положительного энергетического баланса (т.е. аппарат вырабатывал энергии больше чем потреблял) с помощью лабораторного образца своего нового термального глайдера, перемещающегося с применением эффекта температурного фазового перехода (изменения фазового состояния вещества, используемого в качестве основного агента в системе изменения плавучести). Также в рамках той же научно-практической конференции были представлены новые источники питания различных типов (пока в основном в виде экспериментальных образцов, но тем не менее), что позволяет говорить о скором переходе робототехнических средств на новый уровень энергообеспечения (а значит, и выход на новые рубежи автономности и расширение списка решаемых задач). Главное – эти исследования являются свидетельством того, что программы по созданию и развитию глайдеров, несмотря на уже потраченные значительные средства, не сворачиваются, а наоборот, получают широкую поддержку США и государств Европы (программы PERSEUS, GROOM и т.п.), и являются объектами разработки ведущих научно-исследовательских компаний и государственных учреждений мира.

11.04.2015 на сайте Vessel Finder (международной справочной базе судоходства) была опубликована статья «US NAVY Deploys under-ice drones in competition with Russia for Arctic», в которой, со ссылки на источники в ВМС США указано, что в свете ожидаемой борьбы с РФ за арктические ресурсы, американский флот уже разместил ряд долговременных подводных робототехнических средств, которые в настоящее время ведут сбор информации о температурных колебаниях и состоянии моря, для уточненных оперативных прогнозов погоды и построения компьютерных моделей таяния арктических льдов. Европейцы разместили на подводных глайдерах сеть гидрофонов в рамках проекта PERSEUS, создав мобильный рубеж наблюдения за морским трафиком, по заявлению авторов программы: «в целях противодействия противоправной деятельности». Очевидно что этим функции развернутого гидроакустического рубежа слежения вряд ли исчерпываются.

Также необходимо отметить, что помимо усовершенствования конструкции аппаратов с приобретением опыта их производства, мировые компании накопили и богатый опыт их эксплуатации, в том числе и при решении сложных и требующих применения различных робототехнических и традиционных средств задач экологического контроля и мониторинга (например, катастрофа на добывающей платформе DeepWater Horizon компании British Petroleum и последующая операция по мониторингу и борьбе с загрязнениями), научных задач, и, разумеется, в военных целях. В большинстве своем такие задачи решались с применением глобальных, полиморфных и мультиагентных систем.

2. Глайдеры как часть глобальной системы. Как неоднократно отмечалось ранее в статьях и докладах представителей ЗАО «НПП ПТ «Океанос» и СПбГМТУ, аппараты типа «глайдер», как бы совершенны они не были, являются всего лишь звеном в глобальной системе решения задач в акватории Мирового

океана. Без включения в единую информационную и командную среду, объединяющие робототехнические средства морского и воздушного применения, традиционные суда и подводные лодки, береговые центры управления и обеспечения, донные станции, плавучие буи и другие технические средства, такие аппараты останутся пригодны лишь для выполнения единичных миссий, и их эффективность будет существенно снижена. Аппараты повышенной автономности, такие как глайдеры различных типов, наиболее полно реализуют себя в задачах долговременного и скрытого мониторинга, с самостоятельным или с использованием различных носителей прибытием в район миссии, создания временной распределенной наблюдательной сети в указанном районе и т.п. Как можно видеть, все эти задачи должны решаться группой аппаратов, причем во взаимодействии с техническими средствами других типов и родов. Для обеспечения этих задач ключевыми являются вопросы создания средств связи, а также создание и совершенствование модулей полезной нагрузки. Как будет представлено далее, ЗАО «НП ПТ «Океанос» совместно с СПбГМТУ и другими организациями, состоящими в рабочей кооперации по данному проекту, удалось создать платформу глайдера, способную решать требуемые задачи по транспортировке полезной нагрузки в указанные районы и глубины – а вот создание этой полезной нагрузки и адаптация уже имеющихся образцов с учетом новых требований (по энергопотреблению, массо-габаритным ограничениям, снижению уровня генерируемых помех и т.д.) остается открытым вопросом и требует участия организаций-разработчиков таких систем.

Как видно из опубликованного ВМС США программного документа Arctic Roadmap 2020, основным приоритетом ВМС США является развертывание в арктических морях мультиагентной системы сбора разведывательной и обеспечивающей (метеорологической, гидрологической, океанографической, геологической) информации. Система состоит из донных станций, дрейфующих буев, волновых глайдеров, подводных глайдеров, ледовых обсерваторий и т.д. Схема системы из документа приведена на рис. 3.

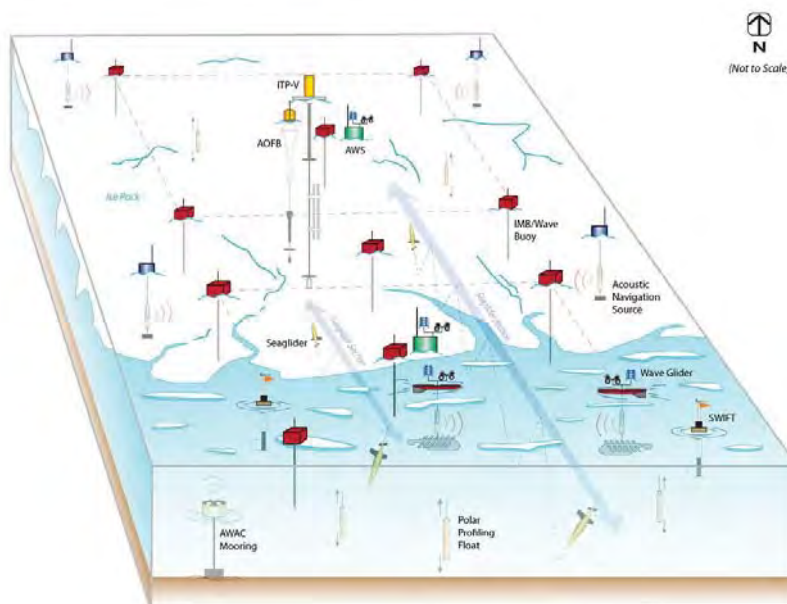


Рис. 1. Иллюстрация из программного документа US NAVY Arctic Roadmap 2020, наглядно демонстрирующая построение мультиагентной системы

Данная система уже активно создается. Таким образом, необходимо в кратчайшие сроки принимать решения и начинать практическую разработку нового поколения робототехнических средств

3. Состояние проекта. ЗАО «НПП ПТ «Океанос» для получения опыта в использовании автономной подводной техники, а также для изучения методами обратного инжиниринга был приобретен аппарат Iver2 компании OceanServer, наиболее распространенный в мире легкий АНПА (на сегодняшний момент произведено более 500 шт, также известна версия Iver2, специально предназначенная для экологического контроля и выпускающаяся под отдельным брендом EcoMapper). Специалисты компании прошли обучение на фирме-производителе, и за время практического использования аппарата в России накопили существенный опыт, позволивший видеть как сильные, так и слабые стороны конструкции и программного обеспечения, что и было использовано в работе над проектом глайдера. Также специалисты компании имеют богатый опыт сборочного производства, поставок, модернизации, ремонтов и работы с телеуправляемыми подводными аппаратами (ТПА) от легких обзорных аппаратов до тяжелых аппаратов рабочего класса. Специалисты компании проходили подготовку в компаниях – ведущих мировых производителей и постоянно эксплуатируют два ТПА типа Н-300, находящихся в собственности компании.

Таким образом, к осуществлению проекта, инициированного совместно с Санкт-Петербургским Морским Государственным университетом, «НПП ПТ «Океанос» подошло со значимым багажом практических и теоретических знаний. Однако, в ходе работы над проектом стало очевидно, что спектр проблем и решаемых в рамках проекта задач весьма широк и выходит за рамки вопросов теоретического моделирования и гидродинамики (прерогатива СПб ГМТУ) и проектирования и создания подводных аппаратов и систем их управления («НПП ПТ «Океанос»). На сегодняшний момент в кооперацию входят:

- ◆ СПб ГМТУ;
- ◆ «НПП ПТ «Океанос»;
- ◆ ФТИ имени академика Иоффе (создание АКБ, систем зарядки и управления АКБ);
- ◆ ОАО «Радуга» концерна «Океанприбор» (ГА и радио модемы);
- ◆ ООО «Лаборатория подводной связи» (ГА связь и навигация);
- ◆ ЗАО «Криотерм» (изотопные и термальные источники питания);
- ◆ ЗАО «Рыбинская верфь» концерна «Калашников» (интеграция с безкипажными плавсредствами);
- ◆ Севастопольский морской гидрофизический институт (океанографические датчики, разработка полезной нагрузки);
- ◆ ЗАО «Геоскан» (дальняя радиосвязь, интерфейсы управления, интеграция с БПЛА);
- ◆ ООО «Экран» (гидролокаторы, разработка полезной нагрузки).

В 2012 г. в результате сотрудничества СПб ГМТУ и Самарского ГТУ был разработан и испытан экспериментальный испытательный аппарат (с рабочей глубиной до 100 м). Результаты испытаний, проводимых с 2012 года, показали, что концепция вполне работоспособна, и был дан «зеленый свет» для дальнейших разработок.

В СПб ГМТУ был проведен большой объем гидродинамических расчетов и исследований, отработка формы корпуса, крыльев (для крыльевого варианта) и управляющих поверхностей аппарата. Были проведены исследования в аэротрубе и ходовом бассейне, позволившие получить данные об основных гидродинамических характеристиках аппарата.

Специально для глайдера было разработано целое семейство программного обеспечения. Так как впереди аппарат ждала программа испытаний, наряду с необходимыми для нормальной работы аппарата программами планировщика миссий и визуализации полученных данных были разработаны программа и аппаратные средства снятия прямой телеметрии (для этого на аппарате предусмотрен порт телеметрии, позволяющий присоединить провод малого диаметра, не оказывающий влияния на ходовые качества аппарата и его плавучесть; также телеметрия передается по радиоканалу на сеансах всплытия и может передаваться по гидроакустическому модему), программа прямого управления (для снятия\ определенных характеристик аппарат может управляться непосредственно с поверхности оператором или осуществлять цепь заранее запрограммированных эволюций и действий с указанной длительностью, например производить прокачку переднего и заднего балластного устройства в указанном темпе для выявления возможного попадания в режим автоколебаний). Для удобства анализа и представления результатов испытательных спусков была создана программа визуализации поведения аппарата, позволяющая представить в трехмерном виде пространственное положение аппарата в любой момент миссии (данные записываются с частотой 1 Гц), а также получить данные о состоянии всех внутренних систем аппарата (положение исполнительных механизмов, вольтаж батарей, данные с навигационных блоков и т.д.) в этот момент. Необходимо отметить что интерфейс и логика программирования миссии аппарата по возможности унифицирована с ПО легких БПЛА петербургской компании «ГеоСкан», принятых на вооружение в РФ, что должно облегчить процесс обучения операторов. В настоящее время идет проработка протоколов совместной работы с БПЛА, который сможет быть использован в качестве релейной станции для связи с аппаратом в надводном положении, облегчении поиска и обнаружения аппарата.

Как итог решения этих и многих других проблем научной и организационной природы, к 2014 году кооперации удалось создать рабочий образец ходового универсального стенда аппарата типа «глайдер» и приступить к испытаниям на открытых акваториях и в испытательных бассейнах. Он предназначен для совершения практических погружений на расчетную глубину до 100 м, совершения длительных испытаний и использования сменных приборных модулей. Особенности аппарата:

- ◆ универсальная конструкция, позволяющая установку сменных модулей управления (носовая оконечность с индивидуально управляемыми рулями, кормовая оконечность с индивидуально управляемыми рулями, гибридная кормовая оконечность с рулями и гребным винтом, носовая и кормовая оконечности традиционного глайдерного типа без рулей) для отработки различных схем управления;
- ◆ реализация различных способов управления по крену и по курсу – с помощью перемещения балласта (АКБ) относительно ДП, с помощью рулей или совместно;
- ◆ возможность использовать крылья различных профилей и различной стреловидности, или использовать аппарат в бескрыльевом варианте;
- ◆ возможность использования глайдера в режиме АНПА, экспериментальная отработка схемы с вспомогательным винтовым двигателем;
- ◆ отработка архитектуры системы управления. Целью работ является построение модульной системы с единым протоколом обмена данными, для достижения гибкости и высокой степени модифицируемости архитектуры системы. Предусматривается выделение под оборудование пользователя отдельного компьютера управления, с передачей информации с датчиков аппарата, но без физической возможности вмешиваться аппаратно или программно в работу основной системы управления глайдера (защита от несанкционированных изменений рабочей логики);

- ♦ большая полезная грузоподъемность и значительные внутренние объемы, достаточные для размещения большого количества регистрирующей аппаратуры.

Таблица 1

Характеристики АНПА типа «глайдер»

Характеристика	Значение
Тип корпуса	Торпедообразный (цилиндрический) с оконечностями в виде тел вращения
Длина корпуса (без антенны)	2720 мм
Диаметр корпуса	320 мм
Удлинение корпуса	8,5
Размах крыльев	1680 мм
Удлинение крыла	5
Форма крыла в плане	Прямоугольная
Кормовые стабилизаторы	Схема «крест»
Управляемые гидродинамические поверхности	Носовые регулируемые
Объем МИПа* носового	2,7 л
Объем МИПа кормового	3,1 л
Система точной дифферентовки и изменения угла крена	Продольное и радиальное смещение батарейного блока
Вес	90 кг
Горизонтальная скорость	0.5 м/с
Масса полезной нагрузки	13-17 кг
Глубина погружения	100 м для лабораторного образца, 1000 м для рабочего образца (при той же конструкции, с заменой материала корпуса).
АКБ, типа	Литий-ионная
Емкость	70 АЧ

4. Промежуточные результаты испытаний. За 2014–2015 годы был проведен значительный объем как лабораторных (2014 г), так и натуральных (2015 г) испытаний. В ходе программы испытаний тестировались все аспекты конструкции аппарата и поведения системы управления глайдером. Методология испытаний подразумевала начальное исследование акватории с применением АНПА типа «Iver2» и плавсредств для получения информации о глубинах, картирования дна с применением гидролокатора бокового обзора (для исключения крупных препятствий и потенциально опасных объектов на дне), в некоторых случаях – проведения пробных водолазных спусков. Также задачей «скаутов» была разведка удобных подъездов и подходов к воде. Совместно с аппаратом была разработана и изготовлена специальная разборная тележка для транспортировки аппарата (весом 100 кг) и обслуживания его в полевых условиях, но ее проходимость также ограничена. Обычно, на предварительную разведку акватории площадью 6-8 кв.км. уходило порядка 4-5 часов, зато после нее испытательная группа могла не опасаться никаких сюрпризов в воде. Также во время разведки производилась привязка имеющихся карт к фактическим координатам элементов ландшафта на местности, так как выяснилось, что доступные карты (используемые позднее в планировщике миссий) различаются лишь степенью неточности и безусловно нуждаются в верификации в любом случае.

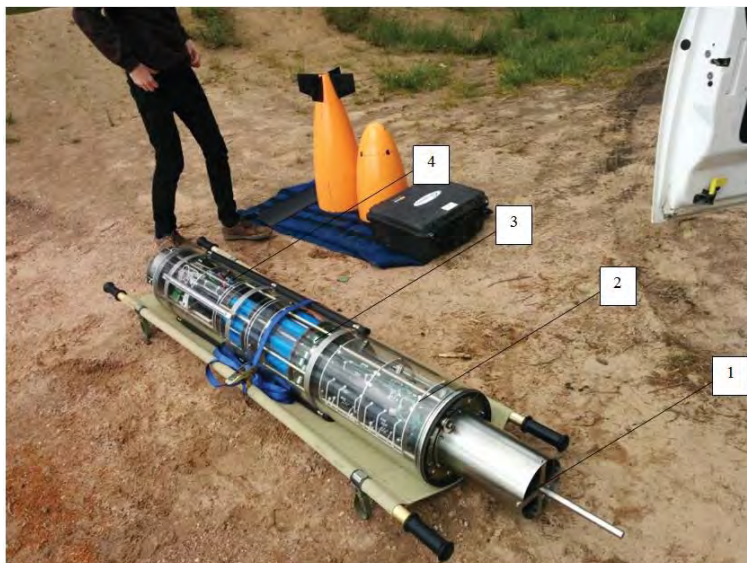


Рис. 2. Глайдер в ходе предпусковой проверки со снятыми обтекателями и крыльями (носом к камере). Видны: 1 – носовой механизм изменения плавучести, 2 – носовой отсек электроники блока полезной нагрузки, 3 – перемещаемые аккумуляторные батареи, 4 – блок электроники управления

Испытательные спуски проводились в контролируемой среде с минимизированными внешними возмущениями, с водолажным обеспечением и/или обеспечением ТПА с постоянным обязательным наличием дежурного плавсредства. Спуски проводились первоначально в режиме прямого управления, затем, после уточнения коэффициентов управляющих воздействий в САУ и логики алгоритмов – в автоматическом режиме. Вся телеметрия как передавалась на поверхность, так и записывалась на носитель (карту памяти) внутри аппарата, и воспроизводилась при дальнейшем анализе спуска.



Рис. 3. Глайдер в ходе испытаний на открытой воде. Видны крылья и стабилизаторный блок.

После проведения первой серии испытаний в конструкцию аппарата были внесены следующие изменения:

1. Увеличен объем носового МИП и его быстродействие.
2. Изменена начальная дифферентовка аппарата с целью увеличения запаса подводной остойчивости, особенно поперечной. Изменение начальной балластировки позволяет «сгладить» кривые опрокидывающих и восстанавливающих моментов, значительно облегчая работу алгоритмов системы управления.
3. Полностью обновлено ПО системы автоматического управления. Введена концепция единого системного времени, согласно с которым выстраивается шкала синхронизации системных процессов и событий.
4. В САУ введен режим «ассист-автопилота», работающий на основе предикторных алгоритмов. Фактически, САУ постоянно рассчитывает и обновляет математическую модель движения аппарата по его траектории, и в случае выхода актуальных параметров из коридора допусков автоматически корректирует положение аппарата. Это позволяет предупредить возможные критические ситуации (сваливание, штопор, «зависание» без скорости) на ранних стадиях, опираясь на относительно небольшие отклонения в параметрах. Эти алгоритмы функционируют в режиме «ассистентов» основного навигационного алгоритма и увеличивают эффективность работы САУ.

Последнее улучшение крайне важно, так как из опыта работы с эксплуатантами зарубежных, коммерчески поставляемых глайдеров (например, компания DOF Subsea имеет 3 глайдера типа Slocum) стало известно, что проблема потери управления и сваливания на малой скорости до сих пор удовлетворительно не решена. В случае работы на участках со сложной гидрологией (наличие линз воды другой плотности/солености, вертикальных течений, резких температурных скачков) это неприемлемо.

После внесения указанных изменений программа испытаний была продолжена. Результаты новой серии были признаны удовлетворительными, и группа разработчиков сосредоточила усилия на интеграции периферийных устройств и полезной нагрузки. С этой целью в систему интегрируется микрокомпьютер Raspberry Pi, а также изучается его отечественный аналог – МВ77.07 Module производства НТЦ «Модуль» (г. Москва) и другие отечественные одноплатные решения.

Созданный аппарат вызвал и вызывает большой интерес государственных структур и ведомств, а также коммерческих организаций. Работы в этой области отмечены Министерством энергетики Российской Федерации присвоением первой премии в области инновационных решений по освоению Арктики и арктического шельфа (2015 г.).

5. Вопросы интеграции полезной нагрузки. Глайдеры могут решать самые разнообразные задачи и действовать в составе разнообразных глобальных систем – однако по сути глайдер, как и любой АНПА, является транспортной платформой, решающей задачу доставки полезной нагрузки в указанный район по указанной траектории и обеспечение ее функционирования. Для успешного выполнения миссии состав и характеристики полезной нагрузки являются критическими. Условно, можно выделить следующую классификацию полезной нагрузки:

- ◆ Гидролокаторы различных типов (преимущественно бокового обзора). Используются для поиска донных объектов, картирования морского дна (или в случае батиметрических гидролокаторов, придонного слоя грунта), а также для обнаружения препятствий по ходу движения аппарата. Характеризуются большим, по меркам глайдеров, энергопотреблением, что де-

лает их постоянное использование невозможным. Требуют устойчивого прямолинейного движения в период работы (что требует перехода на гибридную схему движения глайдера или увеличения скорости глайдера с использованием ГБО в момент прямолинейного движения по инерции).



Рис. 4. Разработчики получают диплом конкурса инновационных разработок Министерства энергетики

- ◆ Химические и физические датчики. Измеряют характеристики воды (температура, проводимость, наличие примесей и т.д.). Используются в основном в океанографических исследованиях, обычно обладают невысоким энергопотреблением. Зачастую обладают спецификой эксплуатации (например, некоторые химические датчики нельзя извлекать из воды после начала работы). Обычно должны быть установлены с возможностью доступа к забортной воде, что приводит к увеличению количества вводов в прочный корпус (если основная аппаратура располагается там) или необходимости создания и размещения в обтекателях индивидуальных корпусов датчиков – при этом необходимо учитывать их влияние на плавучесть, центровку, и, в случае размещения на прочном корпусе – на гидродинамические характеристики аппарата.
- ◆ Дополнительные средства связи. В ходе работы над проектом стало очевидно, что необходимо предусматривать все возможные виды связи. В дополнение к уже имеющейся на аппарате станции цифровой радиосвязи, узлу WiFi ближнего радиуса действия, 3G станции связи (используемой в отладочном режиме), в настоящее время добавляются модули гидроакустической связи (гидроакустический модем, с возможностью подводной навигации), спутниковой связи. Большой интерес вызывают ведущиеся в настоящий момент в США работы по созданию лазерных и оптических подводных каналов связи. Системы основываются на сине-зеленых лазерах (470–570 нм), которые имеют минимальное энергорассеивание в морской воде (около 0.2 дВ/м). Лазерная связь имеет высокую скорость (до 10 Кбс) и в ходе экспериментов устойчиво передавала даже потоковое видео. Малая продолжительность посылки, высокая скрытность и большой

объем передаваемой информации делают оптические виды связи наиболее перспективными на относительно небольших расстояниях. Однако, для осуществления такого сеанса связи необходима высокая устойчивость и точное позиционирование аппарата, что опять же ставит вопрос об имплементации гибридной схемы движения.

6. Гибридная схема движения (движение глайдера с использованием вспомогательного винтового движителя). В ходе исследования различных вариантов полезной нагрузки, их функциональных особенностей и ограничений, стало очевидно, что пилообразная траектория движения традиционного глайдера не является оптимальной для работы некоторых систем, в первую очередь гидролокационных комплексов. Модели использования аппаратов также выявили необходимость в способности увеличивать скорость движения (например, для преодоления локального течения) с 0.3–0.5 узла до 1.5–2 узлов, при сохранении горизонтальности движения. Таким образом, следующим логическим шагом на пути развития данной робототехнической платформы станет создание гибридной движительной установки. Используемая в разработанном ЗАО «НПП ПТ «Океанос» аппарате модульная схема оконечностей позволяет без существенных доработок конструкции использовать двигательный модуль и проводить дальнейшие исследования с различными вариантами двигателей и гребных винтов. В настоящее время проектируется двигательно-движительный комплекс с двигателем мощностью около 350 Вт., также рассматривается конструкция с 2 двигателями меньшей мощности. Предполагается использование гребного винта со складывающимися лопастями, для снижения гидродинамического сопротивления.

7. Дальнейшие направления исследований. В ходе анализа первого этапа практических испытаний были сформулированы задачи для дальнейшей разработки и исследований, которые условно можно разделить на несколько направлений.

1. Проблема обрастания. Особенно подвержены обрастанию волновые глайдеры, имеющие небольшую скорость и находящиеся в наиболее биологически активном слое. Однако и традиционные глайдеры при длительном нахождении в воде испытывают проблемы с обрастанием. Отмечено несколько случаев аварийного прекращения миссий из-за критического изменения гидродинамики аппаратов по причине интенсивного обрастания. [3]. Решение этой проблемы – в разработке перспективных противообрастающих покрытий, а также в использовании физических эффектов (например, интерес вызывают компактные излучатели UV-света). Разработки на данную тему ведутся в Российской Федерации.

2. Источники питания. Среди перспективных источников питания, потенциально рассматриваемых к установке на следующее поколение подводных аппаратов типа «Глайдер», можно выделить:

- ◆ Солнечные батареи.
- ◆ Термальные моторы. Аппараты типа «глайдер» ведут свою историю от первых прототипов, разработанных в Институте Океанографии Вуудс-Холл, которые имели именно термальный привод (Slocum Thermal Glider). Так что история применения термальных источников питания на глайдерах отнюдь не нова, и ограничивают ее распространение, в основном, климато-метеорологические особенности районов применения
- ◆ Радиоизотопные источники питания также представляют существенный интерес. Отечественная промышленность имеет богатый опыт работы с изотопными источниками питания. Возможными аргументами «против» являются очевидно повышенные требования к безопасности, неясный юридический статус и ответственность производителя и эксплуатанта в случае утраты (потери или разрушения) аппарата, а также необходимость

обслуживания аппарата в специально уполномоченных учреждениях. ЗАО «НПП ПТ «Океанос» плодотворно сотрудничает с компанией «Криотерм» на данном направлении.

- ◆ Генераторы на фазовом переходе. Недавно Океанографический институт Скриппса (США) сообщил об успешном окончании испытаний аппарата SOLO TREC, который питается от генератора на фазовом переходе. В процессе смены фазы рабочего тела изменяется их объем, и посредством второго контура, в котором находится масло, приводится в движение крыльчатка генератора. Аппарат совершает погружение на глубину 500 м и обратно, за время 1 погружения генератор вырабатывает приблизительно 1.7 вТч. К сожалению, об отечественных версиях подобных генераторов никакой практической информации пока получить не удалось.

3. Доступ к спутниковым или иным глобальным системам связи. На сегодняшний момент мобильные терминалы отечественной спутниковой системы «Гонец» обладают (сравнительно с терминалами Iridium и аналогичными) большими массогабаритными характеристиками и страдают высоким энергопотреблением. Тем не менее, ведется работа по их потенциальному интегрированию в проект.

Наряду с техническими проблемами и вопросами, нуждающимися в исследовании, существует ряд организационных вопросов и проблем, связанных с некоторым отставанием РФ в данной области знаний. Например, это:

- ◆ сложность решения задач прототипирования в ходе ОКР. Из опыта посещений специализированных выставок и конференций (например, AUVSI Conference (Association for Unmanned Vehicle Systems International) отмечено, что более 70 % экспонентов предлагают услуги по быстрому прототипированию по чертежам Заказчика, как методами 3D печати из пластика и металлов, так и традиционной высокоточной металлообработкой. Стоимость таких прототипов невысока, скорость исполнения заказов – 1–3 дня для средней детали. В России данные услуги практически отсутствуют, что вынуждает разработчиков идти на капитальные вложения и приобретать собственное оборудование для быстрого прототипирования, обучать и нанимать персонал и т.д.
- ◆ необходимость существенных инвестиций на начальном этапе для разработки уникальных логических решений и большого количества программного обеспечения. По данным зарубежных авторов, типичный коллектив, работающий над проектом типа глайдер, включает около 70 % программистов и математиков и лишь 30 % инженерного и технического персонала.
- ◆ отсутствие единой концепции развития робототехнических сил и средств.
- ◆ кадровый вопрос, отсутствие специалистов современного уровня практически во всех смежных областях.
- ◆ сжатые сроки требуемого решения проблем и неадекватное финансирование. Программа ВМС США, как указывалась ранее, развивалась с 1988 года для достижения сегодняшнего уровня. По самым скромным подсчетам, только на основные глайдерные программы (Slocum, SeaGlider, Libertad (Z-Ray) было потрачено свыше 200 млн. долларов.
- ◆ требование для адекватности разрабатываемых проектов «перескочить» через текущее поколение аппаратов (которые устареют к моменту серийного производства отечественной техники) и заниматься сразу разработкой аппаратов следующего поколения, при том что элементная база российского производства в основном технологически уступает зарубежной.

Тем не менее, существуют пути решения всех этих проблем, и коллектив разработчиков уверен в возможности и необходимости создания семейства современных подводных робототехнических средств.



Рис. 6. Робототехнические средства ЗАО «НПП ПТ «Океанос» – глайдер, АНПА типа IVER2, ТПА типа Н300Мк2

Выводы. При текущем состоянии дел для поддержания конкурентоспособности РФ выход можно найти только в создании современной, высокотехнологичной единой системы наблюдения за морем с высоким уровнем использования робототехнических средств, причем создание и развертывание такой системы необходимо начинать в ближайшее время. Подводные глайдеры являются ключевыми элементами такой системы. ЗАО «НПП ПТ «Океанос» и организации-члены кооперации по созданию морских РТС продолжают дальнейшую разработку и совершенствование семейства автономных подводных аппаратов с целью повышения эффективности их работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агеев М.Д., Касаткин Б.А., Киселев Л.В., Молоков Ю.Г. Автоматические подводные аппараты. Техника освоения океана. – Л.: Судостроение, 1981.
2. Пантов Е.Н. Основы теории движения подводных аппаратов. – Л.: Судостроение, 1973.
3. AUVSI Conference Proceedings, USA, 2012.
4. AUVSI Conference Proceedings, USA, 2013.
5. AUVSI Conference Proceedings, USA, 2014.
6. UNDERWATER GLIDER SYSTEM STUDY. Scripps Institution for Oceanography. Technical papers #1-56. USA, 2009.
7. DYNAMIC MODELLING OF HYBRID WINGED GLIDER. Chinese Ocean Engineering Society, 2011.
8. “THE SLOCUM MISSION”, Н. Stommel, *Oceanography*, No. 1, 1989.
9. EFFICIENT MOTION PLANNING AND CONTROL FOR UNDERWATER GLIDERS, Nina Mahmoudian. USA, 2009.
10. UNDERWATER GLIDERS FOR OCEAN RESEARCH, Daniel Ridinck. *Oceanography*. – 2004. – Vol. 38-1.

11. http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_glider.
12. LIVERPOOL GLIDERS LABORATORY. <http://coastobs.pol.ac.uk/cobs/gliders/>.
13. GROOM, European Gliders for Research and Ocean Management. <http://www.groom-fp7.eu/doku.php>.
14. EUROPEAN COOPERATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY – EGO Action <http://www.ego-cost.eu/doku.php>.
15. GLIDERS FOR US NAVY - <http://www.defenseindustrydaily.com/Underwater-Gliders-for-the-US-Navy-06990/>.
16. DYNAMIC MODELING AND MOTION SIMULATION FOR A WINGED HYBRID-DRIVEN UNDERWATER GLIDER. WANG Shu-xin , School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China, 16 November 2010.
17. HYDRODYNAMIC MODELING FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES USING COMPUTATIONAL AND SEMI-EMPIRICAL METHODS. Jesse Stuart, Geisbert Virginia Polytechnic Institute and State University, May 10th, 2007, Blacksburg, Virginia
18. SOLAR-POWERED AUV: SAUVII. SAUV White Paper, Kongsberg-Simrad, 2014.
19. HYDRODYNAMICS OF PITCHING FOILS: FLEXIBILITY AND GROUND EFFECTS. Rafael Fernandez Prats. University Royal Virginia, 2012.
20. UNMANNED UNDERSEA VEHICLES AND GUIDED MISSILE SUBMARINES: Technological and Operational Synergies by Edward A. Johnson, Jr., Commander, U.S. Navy February 2002, Air University Maxwell Air Force Base, Alabama.
21. AN ANALYSIS OF UNDERSEA GLIDER ARCHITECTURES AND AN ASSESSMENT OF UNDERSEA GLIDER INTEGRATION INTO UNDERSEA APPLICATIONS, William P. Barker, September 2012 , Naval Postgraduate School, Monterey, California.

УДК 629.584:504 (98)

В.Г. Хорошев, В.В. Дроздов, Ю.Н. Поляков

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДВОДНЫХ
АВТОНОМНЫХ МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТЕХНОСФЕРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АРКТИКЕ**

Рассмотрены технические характеристики и функциональные возможности применения подводных автоматизированных мониторинговых систем в условиях морей Арктики. Обосновано, что основными перспективными направлениями применения подводных автономных мониторинговых систем могут в настоящее время являться следующие: анализ технического состояния подводной части буровых платформ и нефтяных отгрузочных терминалов в открытом море; анализ технического состояния подводной части береговых портовых сооружений – причалов и отгрузочных терминалов; анализ состояния донных грунтов и подводного рельефа в зонах прокладки подводных трубопроводов и в районах нахождения буровых платформ; анализ степени и характера химического и физического загрязнения морских акваторий; анализ степени и характера влияния антропогенной деятельности на промысловые популяции рыб и других организмов в пределах особо охраняемых природных акваторий; поиск потенциально опасных затонувших объектов в акваториях порта, а также поисковые исследования в открытом море. Имеющаяся экспериментальная база и компетенции сотрудников ФГУП «Крыловский государственный научный центр» позволяют участвовать в проектировании и создании высокотехнологичной морской роботизированной техники, предназначенной, в том числе для обеспечения техносферной и экологической безопасности в Арктике при освоении ее минеральных и биологических ресурсов.